

TEMA 3.1

MOSFET

CUD

TEMA 3
TRANSISTOR MOS
FUNDAMENTOS DE
ELECTRÓNICA



Centro Universitario
de la Defensa Zaragoza

18 de abril de 2015

TEMA 3.1 – MOSFET

- Introducción
- Regiones de operación
- Efecto Early
- Efecto Body



TEMA 3.1 – MOSFET

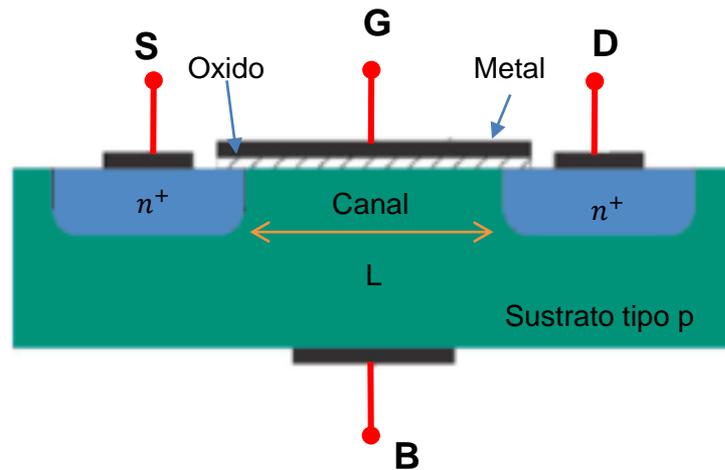
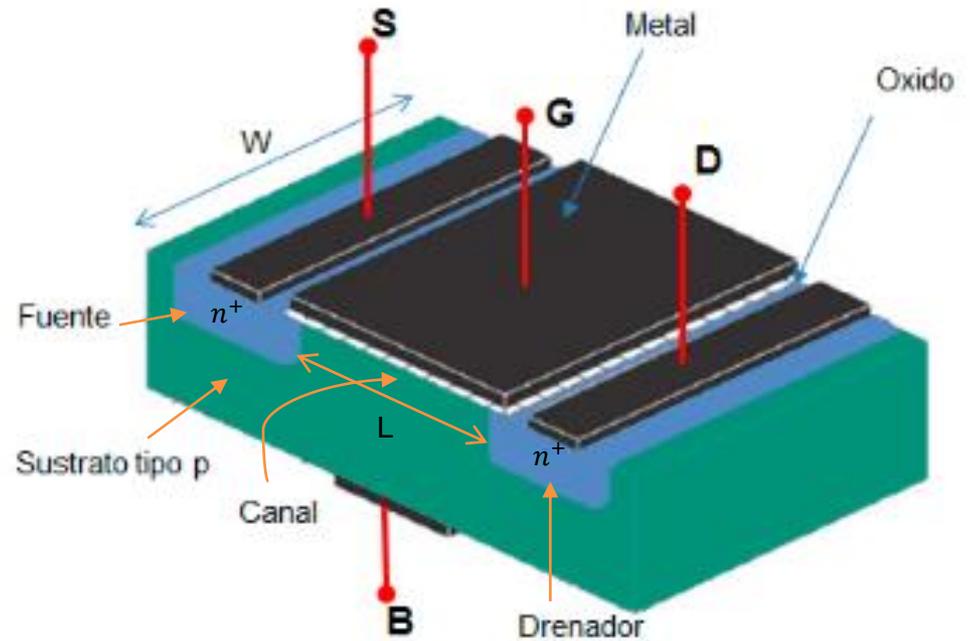
- Introducción
- Regiones de operación
- Efecto Early
- Efecto Body



DESCRIPCIÓN

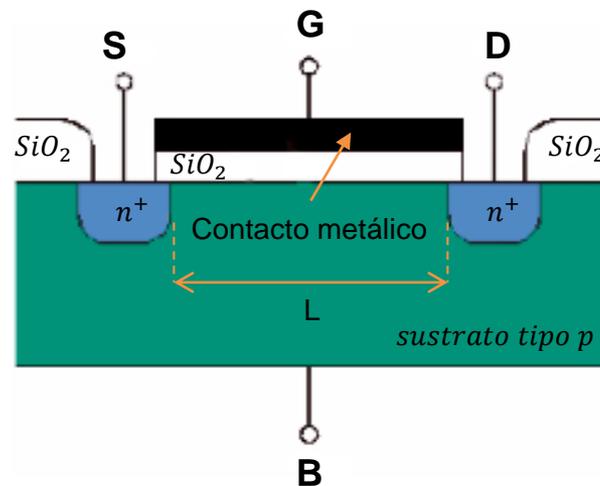
➤ 4 Terminales

- Puerta (G, gate)
- Drenador (D, drain)
- Fuente (S, source)
- Sustrato (B, bulk)



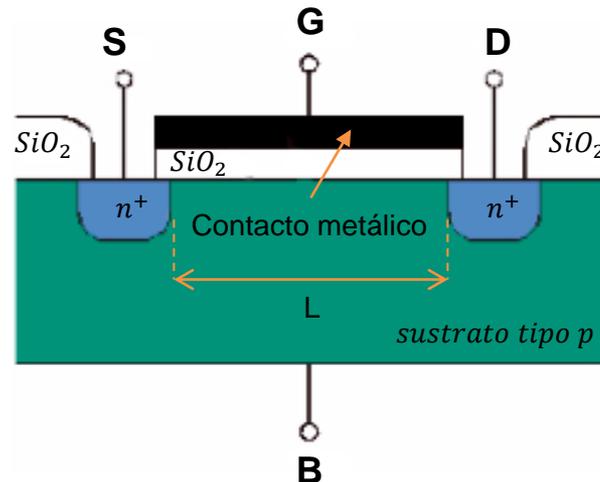
SUSTRATO

- En el sustrato (B, bulk) se establece una tensión fija de referencia que garantiza que ambas uniones PN (S-B y D-B) están en corte.
- Por lo tanto, los transistores MOSFET se pueden modelar casi por completo (excepto el efecto body) mediante tres terminales (S, G, D).



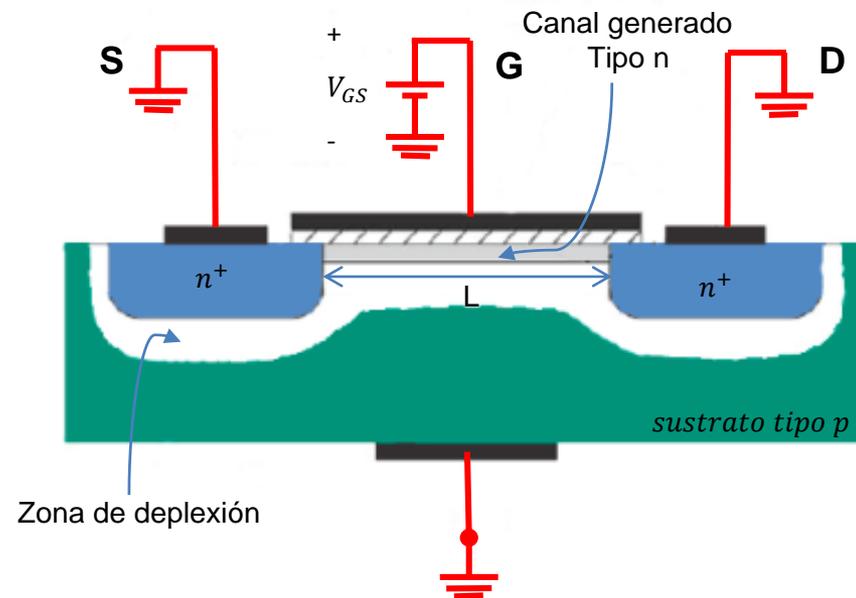
PUERTA

- La corriente de puerta es siempre nula, ya que se encuentra aislada del resto mediante un aislante (SiO_2)
- La corriente que fluye entre la fuente y el drenador se controla con la tensión aplicada en la puerta.



CANAL

- Para que exista corriente entre fuente y drenador es necesario establecer un camino por el cual fluya la misma
- Esto sólo es posible si se crea una lámina de inversión de carga de electrones que una las dos regiones N^+ (D y S)



CANAL

- Cuando se aplica una tensión positiva al terminal de puerta se crea un campo eléctrico entre las placas del condensador que incide perpendicularmente sobre la superficie del semiconductor.
- Este campo eléctrico atrae cargas negativas hacia la superficie y repele las positivas.
- Si el campo eléctrico tiene la intensidad suficiente logra crear, en la proximidad de la superficie del semiconductor, una región muy rica en cargas negativas que se denomina canal N. Este canal, de longitud L y anchura W , conecta las dos regiones N y permite el paso de corriente entre drenador y fuente.
- Si el campo eléctrico transversal se hace más intenso, el canal se hace más rico en cargas negativas, disminuye su resistencia, y permite el paso de una corriente mayor entre drenador y fuente.

MOSFET

- Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
- Se denomina MOS por la arquitectura perpendicular que lo forma Conductor-Aislante-Semiconductor
- Se denomina de *efecto de campo* porque la corriente que circula entre los terminales de drenador y fuente está controlada por el campo eléctrico perpendicular a la superficie del semiconductor entre las regiones de drenador y fuente.

TIPOS DE MOSFET

- **MOSFET de canal N de enriquecimiento (normally off):** el sustrato semiconductor es tipo P y no existe canal a menos que apliquemos la tensión necesaria a la puerta para que esto ocurra.
- **MOSFET de canal P de enriquecimiento (normally off):** el sustrato semiconductor es tipo N y no existe canal a menos que apliquemos la tensión necesaria a la puerta para que esto ocurra.
- **MOSFET de canal N de deplexión (normally on):** el sustrato semiconductor es tipo P y existe canal a tensión de puerta nula. Se puede hacer desaparecer al canal con la aplicación una tensión apropiada a la puerta.
- **MOSFET de canal P de deplexión (normally on):** el sustrato semiconductor es tipo N y existe canal a tensión de puerta nula. Se puede hacer desaparecer al canal con la aplicación una tensión apropiada a la puerta.

SIMBOLOS

	Enriquecimiento		Depleción	
	Normally OFF		Normally ON	
NMOS				
PMOS				

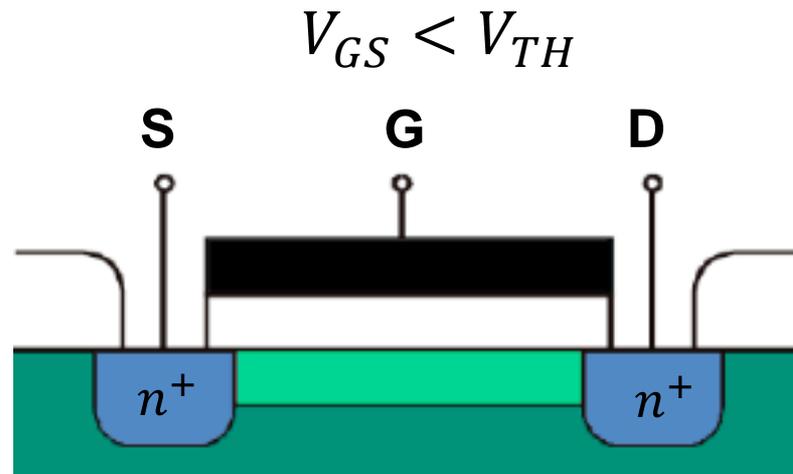
TEMA 3.1 – MOSFET

- Introducción
- Regiones de operación
- Efecto Early
- Efecto Body



MODELO CUALITATIVO

Sin canal



V_{DS} bajo

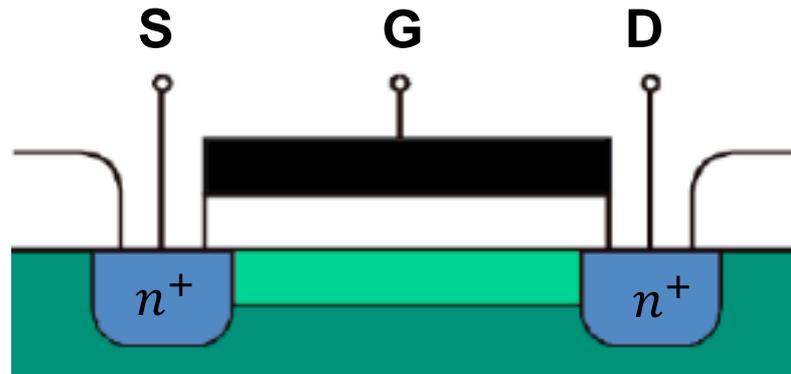
Intensidad nula de drenador a fuente

$$I_{DS} = 0$$

MODELO CUALITATIVO

a) Canal uniforme.

$$V_{DS} \approx 0 \Rightarrow V_{GS} \approx V_{GD}$$



V_{DS} bajo

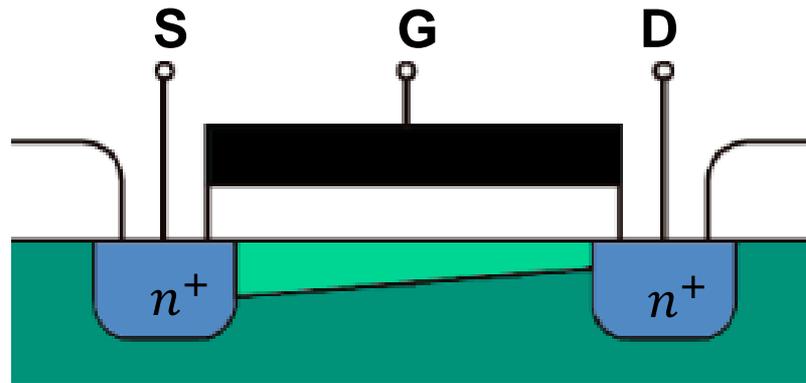
Comportamiento parecido al de una resistencia

$$I_{DS} = f(V_{GS})V_{DS}$$

MODELO CUALITATIVO

b) Canal no uniforme.

$$V_{DS} > 0 \Rightarrow V_{GS} > V_{GD}$$



V_{DS} mayor

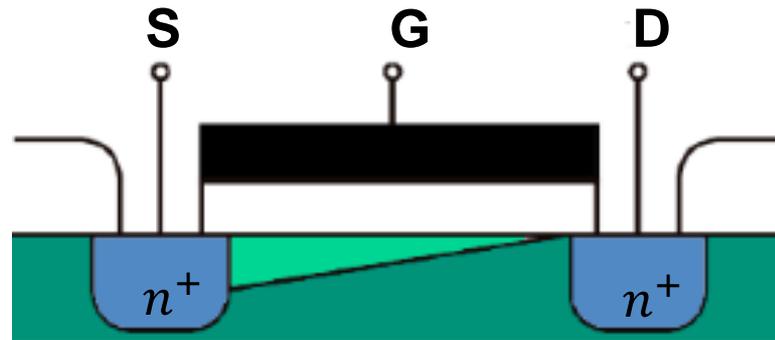
La resistencia aumenta con V_{DS}

$$I_{DS} = f(V_{GS}, V_{DS})V_{DS}$$

MODELO CUALITATIVO

c) Agotamiento del canal.

$$V_{GD} = V_{TH} \Rightarrow V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$$



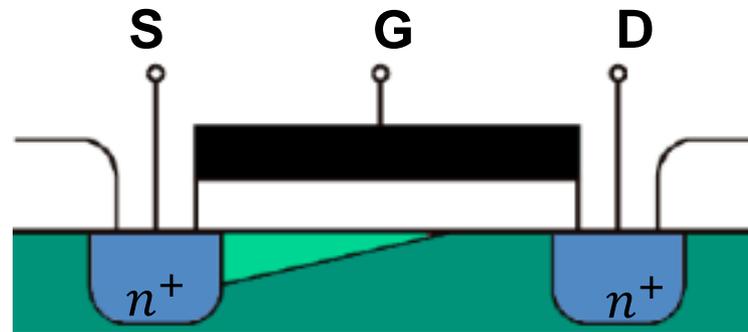
$$V_{GS} - V_{DS} = V_t$$
$$V_{DSsat} \equiv V_{GS} - V_t$$

Pendiente nula en $I_{DS} - V_{DS} \cdot V_{TH}$ es la tensión V_{GS} a partir de la cual el canal conduce.

MODELO CUALITATIVO

d) Saturación del canal.

$$V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$



$$V_{DS} > V_{DSsat}$$

La corriente de drenador a fuente no depende del voltaje V_{DS} (sin contar el efecto Early)

REGIONES DE OPERACIÓN

La línea se curva porque la resistencia del canal aumenta con v_{DS}

a) Casi una línea recta con pendiente proporcional a $v_{GS} - v_t$

b) y a) Triodo:

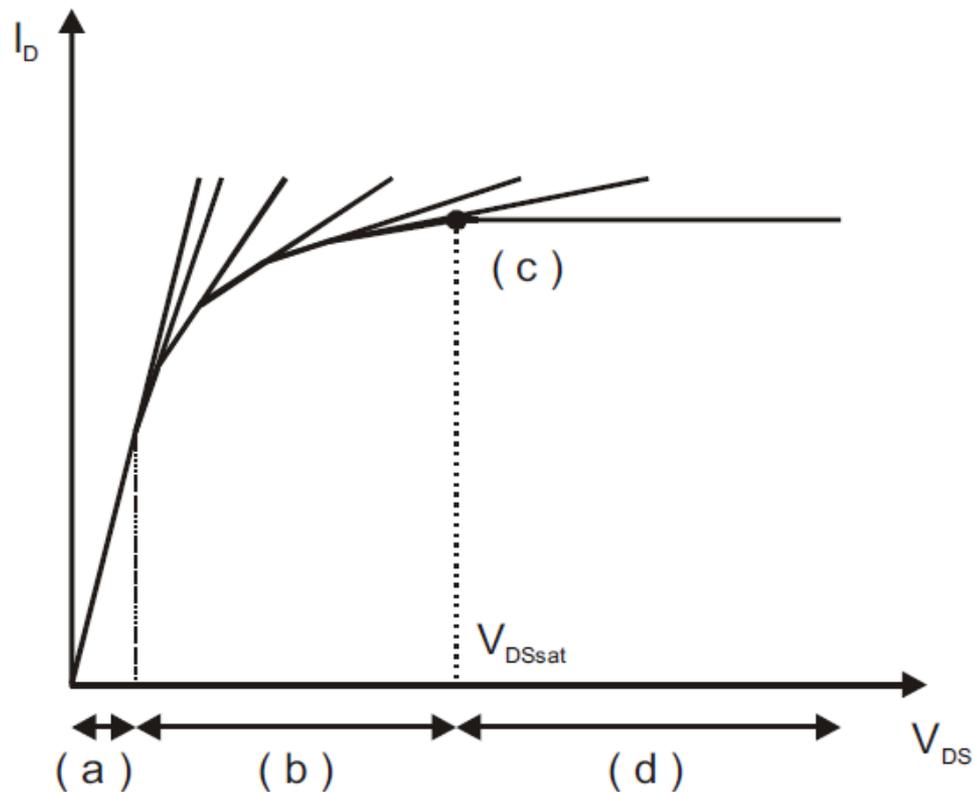
$$v_{DS} < v_{GS} - v_t$$

d) Saturación:

$$v_{DS} \geq v_{GS} - v_t$$

c) Limite entre regiones:

$$v_{DS} = v_{GS} - v_t$$



REGIONES DE OPERACIÓN

➤ NMOS

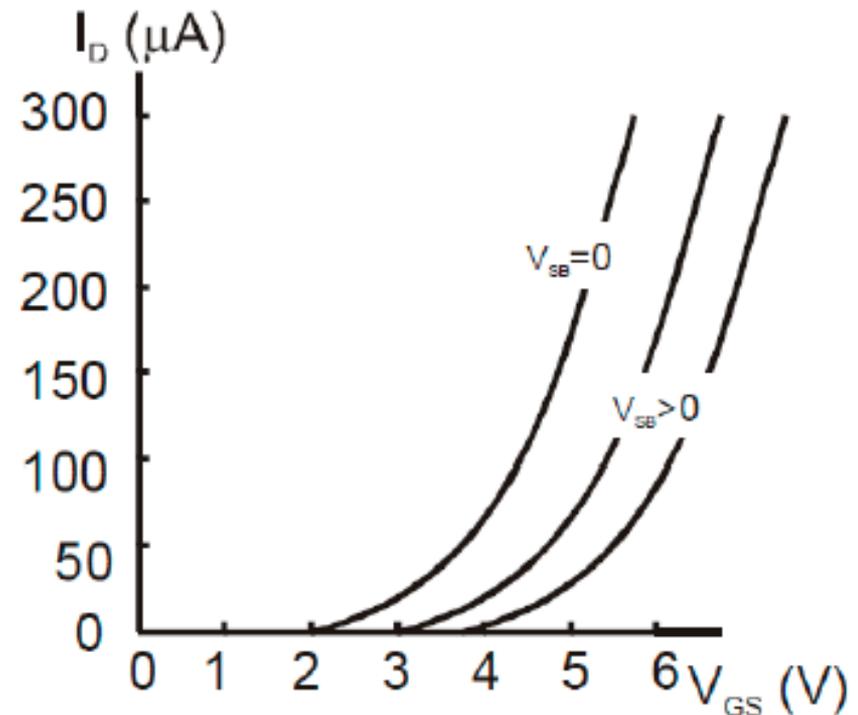
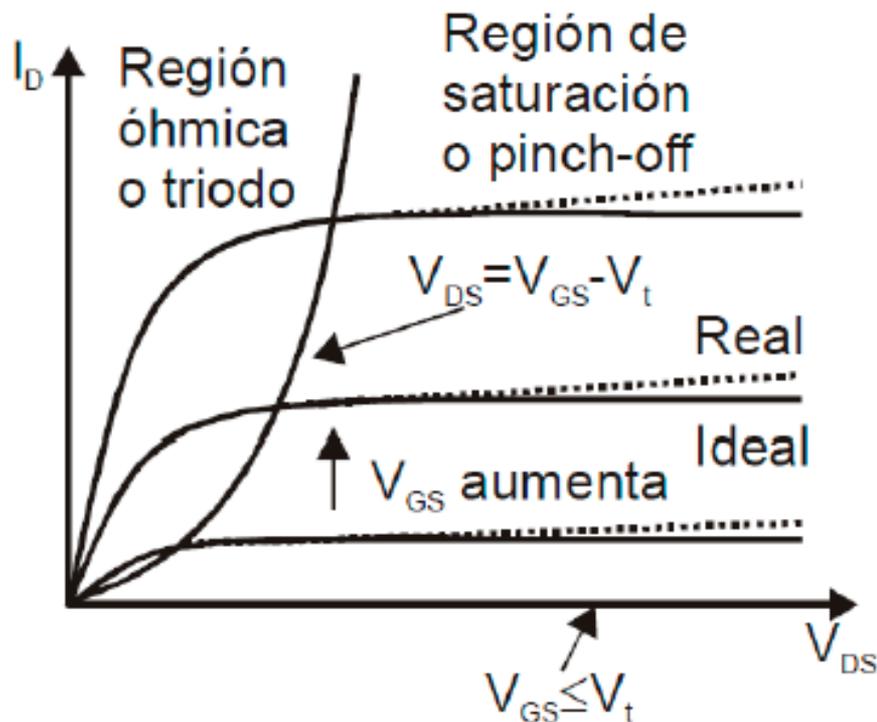
$$I_{DS} = \begin{cases} 0 & V_{GS} < V_T & \text{corte} \\ \frac{K W}{2 L} [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2] & V_{DS} < V_{GS} - V_T & \text{triado} \\ \frac{K W}{2 L} (V_{GS} - V_T)^2 & V_{DS} \geq V_{GS} - V_T & \text{saturación} \end{cases}$$

➤ PMOS

$$I_{DS} = \begin{cases} 0 & V_{SG} < |V_T| & \text{corte} \\ \frac{K W}{2 L} [2(V_{SG} - |V_T|)V_{SD} - V_{SD}^2] & V_{SD} < V_{SG} - |V_T| & \text{triado} \\ \frac{K W}{2 L} (V_{SG} - |V_T|)^2 & V_{SD} \geq V_{SG} - |V_T| & \text{saturación} \end{cases}$$

CURVAS CARACTERÍSTICAS

- I_D vs V_{DS} con $V_{GS} = \text{cte}$
- I_D vs V_{GS} con $V_{DS} = \text{cte}$



TEMA 3.1 – MOSFET

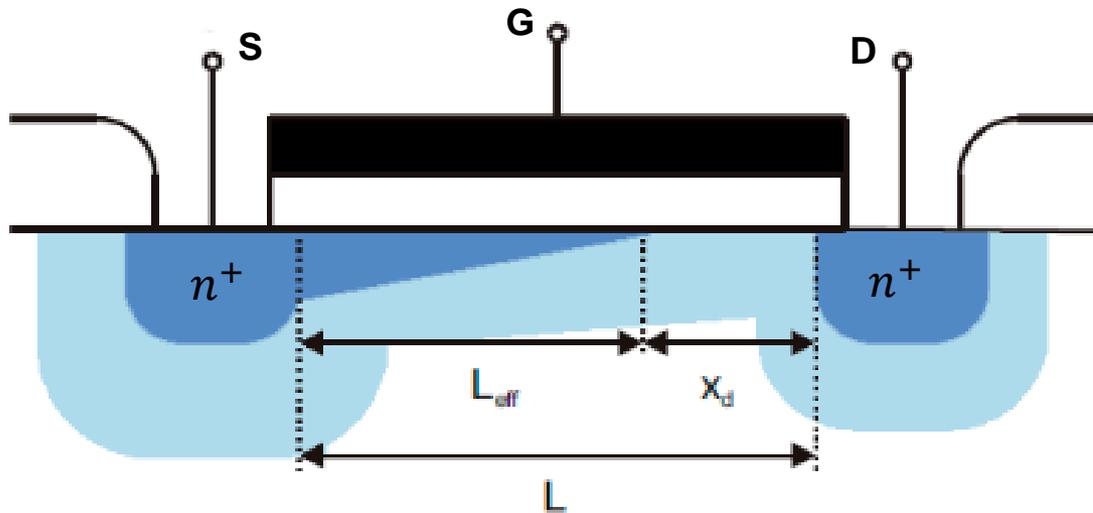
- Introducción
- Regiones de operación
- **Efecto Early**
- Efecto Body



EFEECTO EARLY

- Cuando el MOSFET trabaja en saturación, la longitud efectiva del canal varía con la tensión V_{DS}
- $L_{eff} = L - x_d$ es la longitud real del canal

$$I_D = \frac{k'}{2} \frac{W}{L_{eff}} (V_{GS} - V_T)^2$$



EFEECTO EARLY

- Cálculo de la variación de la corriente en saturación I_D con V_{DS}

$$\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} = -\frac{k' W}{2 L_{eff}^2} (V_{GS} - V_T)^2 \frac{dL_{eff}}{dV_{DS}}$$

$$\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} = \frac{I_D}{L_{eff}} \frac{dx_d}{dV_{DS}}$$

$$\frac{I_D}{\left(\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}}\right)} = L_{eff} \left(\frac{dx_d}{dV_{DS}}\right)^{-1} = V_A = \frac{1}{\lambda}$$

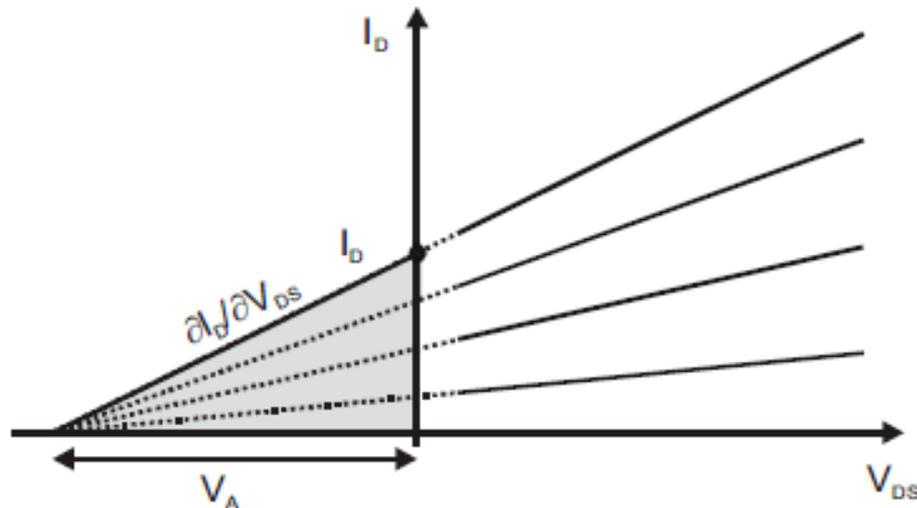
V_A se denomina
tensión Early

- De esta forma, para el MOSFET operando en saturación se puede escribir

$$I_D = \frac{k' W}{2 L} (V_{GS} - |V_T|)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

EFEECTO EARLY

- La tensión Early es independiente de I_D
- Constituye la base común para todos los triángulos contruidos a partir de la extrapolación de las curvas $I_D - V_{DS}$ en saturación



TEMA 3.1 – MOSFET

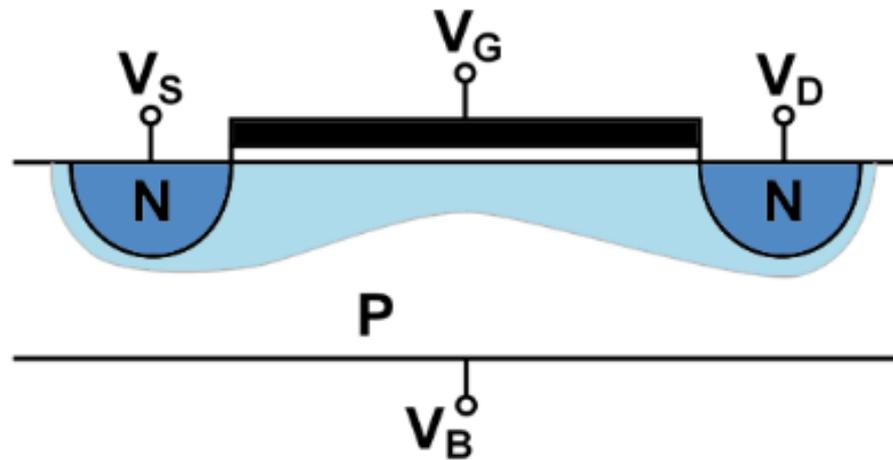
- Introducción
- Regiones de operación
- Efecto Early
- Efecto Body



EFECTO BODY

- Para garantizar que las uniones PN están en corte, la tensión en sustrato tiene que ser la mínima del circuito
- Hasta ahora se ha considerado que el sustrato se encontraba cortocircuitado con fuente

$$V_{SB} = 0$$

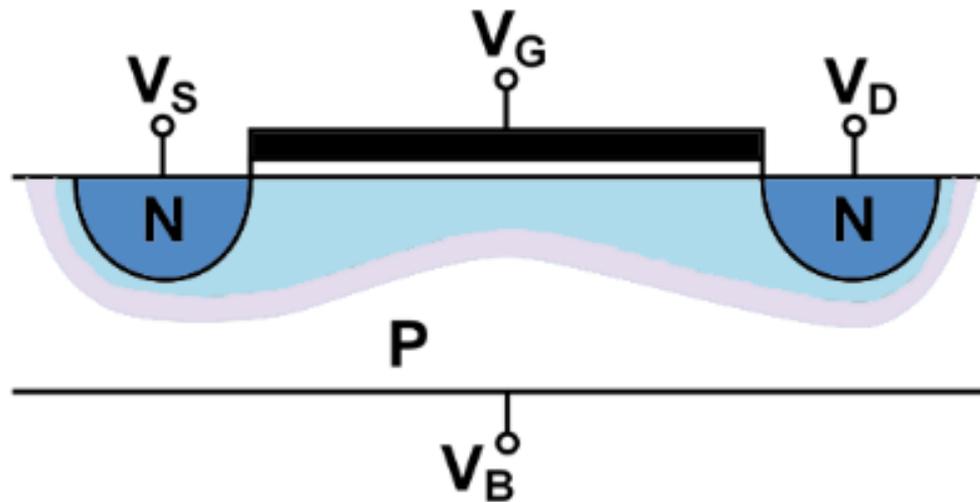


EFECTO BODY

- Si la tensión en fuente no es la misma que la tensión en sustrato:

$$V_{SB} > 0$$

- Las uniones PN están polarizadas más en inversa, por lo que se produce un aumento de la región de carga espacial



EFECTO BODY

- La carga en deflexión se ve modificada, reduciendo la anchura del canal.
- Esto equivale a un aumento de la tensión umbral necesaria para que se produzca la conducción

$$V_T = V_{FB} + 2\phi_F + \gamma\sqrt{2\phi_F + V_{SB}}$$

